

公路黄土边坡强度参数的选取及应用

雷晓锋¹, 肖 曼¹, 张 林¹, 马保成², 李 萍³

(1. 西安公路研究院, 陕西 西安 710054; 2. 长安大学 公路学院, 陕西 西安 710064;
3. 长安大学 地质工程与测绘学院, 陕西 西安 710054)

摘 要:现场调查了陕西黄土地区 3 个地段的 77 个路堑极限边坡, 通过对坡高和坡度进行对数线性回归分析, 得到二者在不同置信度下的回归关系。以极限状态坡为输入坡型, 在对室内不同剪切试验方法得到的黄土强度参数统计分析的基础上, 采用简化毕肖普法在给定摩擦角 φ 值的情况下反算粘聚力 c 值。结果表明: 各段反算值与直接快剪试验结果较为接近, 其他试验结果可以根据反算值作出修正; 通过反算强度参数和试验参数的对比分析, 确定了强度参数的选取原则, 并根据选定的强度参数, 计算出了公路黄土边坡设计的基本参数。

关键词:道路工程; 黄土; 公路边坡; 强度; 参数反算; 统计分析

中图分类号: U419.4 **文献标志码:** A

Selection and application of strength parameters of highway loess slope

LEI Xiao-feng¹, XIAO Man¹, ZHANG Lin¹, MA Bao-cheng², LI Ping³

(1. Xi'an Highway Institute, Xi'an 710054, Shaanxi, China; 2. School of Highway, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China; 3. School of Geological Engineering and Surveying, Chang'an University, Xi'an 710054, Shaanxi, China)

Abstract: According to the field investigation of 77 critical loess slopes along the highways in three positions of Shaanxi province, the regression relationship between the height and the degree of slopes was obtained by logarithm regression analysis. The critical slopes were the inputted form of slopes, the Bishop method was used to back-calculating the value of cohesion c when the value of internal friction angle φ . The results show that the value of back-calculated method is closer to the value of the quick shear test. The other test values should be modified. By comparative analysis between strength parameters calculated and actual measured, a method of choosing strength parameters was recommended. Then according to these strength parameters, the basic parameters of designing loess slope can be worked out, which is based on abundant local landform surveying data of loess landslide and critical slope. 7 tabs, 1 fig, 10 refs.

Key words: road engineering; loess; highway slope; strength; back-calculating of parameter; statistical analysis

0 引言

在岩土工程问题分析评价中,土性参数的确定是其核心内容之一,参数的合理性直接影响到工程设计的可靠性与投资成本。在特定时空条件下的土性参数应该有一个确定的值,但其“真值”往往是未知的,也是不易确定的。目前只能通过有限的室内试验或现场原位试验来测定,但试验往往受各种因素的干扰,有很强的不确定性。土性参数的不确定性或变异性通常源于 2 个方面:一是土的固有变异性;二是系统的不确定性^[1]。对于系统的不确定性,可通过取样方法的改进(如探井等)、试样数量的增加、试验技术水平的提高等加以解决。而对于土的固有变异性,则需对实际土体进行统计分析与试验结果对比才能掌握,它是土性参数变异性的研究重点。目前对岩土参数的研究主要是针对室内试验参数的统计分析与选用,利用室内试验结果进行分析的方法有概率统计方法、经验方法、反算方法^[2-8]等。由于边坡强度参数的各种不确定性,需要大量的现场及室内试验资料进行对比分析,但同一试样采用不同的试验方法(三轴、直剪)和不同的试验条件的测定值之间存在着显著的差异,计算结果甚至会得出不同的结论。因此,给出一个合理的强度参数的选取方法是很有必要的,这是边坡工程设计必须解决的问题。为此,本文对陕西黄土地区自然极限边坡进行现场量测、取样,并进行室内试验;通过反算分析,确定了强度参数的选取原则,给出了公路黄土边坡设计的基本参数。

1 黄土滑坡和极限边坡的现场调查

本次调查的范围为陕北至关中,北起延河支流杏子河两岸,南至泾河南岸。这一线是典型黄土高边坡发育、滑坡多发的区域,是极限坡最为典型和集中的地方。自北向南分成三段,即延安段、甘泉段和铜黄段。延安段和甘泉段以延河、洛河的分水岭为界,甘泉段和铜黄段以交道塬为界。

极限稳定坡,就是边坡处于极限状态或接近极限状态。边坡坡度在同等条件(如土质条件和坡高相同)下,如再陡一些,就有可能产生大的变形并破坏,如再缓一些,将在长时间内,即使经历一定的自然条件,如降雨等,也不会发生破坏,这种类型的边坡,可视为极限稳定坡。极限坡在野外较易判别,也是最合理的参考坡型。以自然的极限稳定坡为基

准,采取一定的防护措施(如排水,坡面防护等)或稍加放缓坡型,都被认为是设计坡型的最佳选择。因此,野外极限稳定坡的判断是非常重要的。根据野外调查,以下 4 点可作为主要判断依据:①坡顶有拉裂隙;②坡面局部滑塌,地形破碎;③已有滑坡恢复的原始坡;④滑坡两侧与其坡高、坡度相当的边坡。能满足上述 4 点之一,就可判断其为“极限坡”^[9]。在野外调查中,后 3 点容易掌握,第 1 点虽是直接标志,但不是很容易识别和找寻,只是在一些特定地区,较为容易识别,如泾河南岸。而已滑坡的边坡,是容易识别的。因此,本次测量以公路沿线滑坡为主,测量其周界和主滑方向地形,从而推算主滑面原始地形剖面。

对野外测量数据进行整理分析,利用空间几何关系,使滑坡发生前的初始边坡得以恢复。滑坡形成后其周界并没有随着滑坡一起滑动,保留了原始地貌,将等高程的周界点进行连接,可近似代表原坡形,再沿主滑断面切出剖面线,就得到了主滑方向的纵断面地形线,该断面可认为是极限边坡。

野外测量数据经分析整理,得出 77 个极限边坡(其中 15 个是已发生滑动的恢复的原始边坡):延安段共 22 个,甘泉段共 23 个,铜黄段共 32 个。

将边坡高度与坡度分段进行统计分析。对数据进行拟合,得出各段方程为

延安段

$$y = -8.10 \ln(x) + 7200 \quad R^2 = 0.635 \quad (1)$$

甘泉段

$$y = -12.52 \ln(x) + 87.76 \quad R^2 = 0.772 \quad (2)$$

铜黄段

$$y = -6.32 \ln(x) + 71.78 \quad R^2 = 0.689 \quad (3)$$

式中: x 为边坡高度; y 为边坡坡度; R^2 为判定系数。

下页图 1 为以上 3 段的坡高、坡度拟合的对数曲线图。

从图 1 可看出,坡高 35 m 以下,延安段和甘泉段坡比基本相近,甘泉段略大于延安段;35 m 以上,甘泉段的坡比变化较大,100 m 高度的坡比为 1 : 2.40。由于铜黄段的坡高主要集中在 40~80 m,根据拟合方程亦可见,其整体上坡比都集中在比较大的范围。

对数拟合时采用的数据有离散性,为此采用 Matlab 中的 polytool() 函数,分别按 95%、75% 的置信度对坡高和坡度相关关系进行统计,结果见下页表 1~表 3。

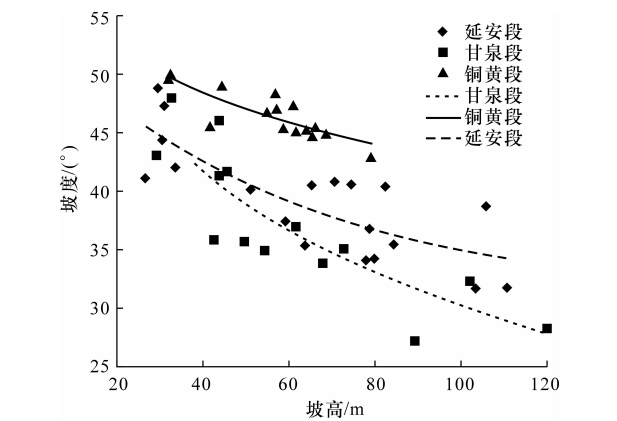


图 1 延安、甘泉、铜黄段实测坡高与坡度的对数拟合线形

表 1 延安段极限边坡坡高、坡比统计拟合数值

坡高/ m	计算坡 度/(°)	坡比	置信度 95%的坡比		置信度 75%的坡比	
			下限	上限	下限	上限
25	45.03	1.00	0.74	1.37	0.84	1.19
30	44.44	0.98	0.72	1.33	0.83	1.16
35	43.86	0.96	0.70	1.32	0.81	1.14
40	43.27	0.94	0.69	1.28	0.79	1.12
45	42.68	0.93	0.67	1.25	0.78	1.10
50	42.09	0.90	0.66	1.23	0.76	1.08
55	41.51	0.88	0.65	1.20	0.74	1.05
60	40.92	0.87	0.63	1.18	0.72	1.03
65	40.33	0.85	0.61	1.15	0.71	1.01
70	39.75	0.83	0.60	1.12	0.69	0.99
75	39.16	0.81	0.59	1.11	0.68	0.97
80	38.57	0.80	0.57	1.09	0.67	0.95
85	37.98	0.78	0.56	1.06	0.65	0.93
90	37.40	0.76	0.55	1.04	0.64	0.91
95	36.81	0.75	0.53	1.02	0.62	0.89
100	36.22	0.73	0.52	1.00	0.61	0.88
105	35.64	0.72	0.51	0.98	0.60	0.85

以上数据是按现场调查的自然条件下的极限坡统计得出的,而人工边坡在采取坡面防护和截排水条件下,同样坡高和坡比的边坡,稳定性应高于自然边坡。因此,以上统计结果可作为人工边坡设计的参考。

2 黄土边坡强度参数的反算

本次边坡测量的同时,在典型的边坡断面上采样原状土样,共采样 22 组,每组 6 件。所取土层为离石黄土(Q₂)层,因为该地区边坡破坏主要发生在该层。除在室内做常规物理力学指标和粒度分析外,还平行做了直剪试验和三轴试验:直剪试验做了直接快剪、固结快剪和饱和固结快剪 3 种试验;三轴

表 2 甘泉段极限边坡坡高、坡比统计拟合数值

坡高/ m	计算坡 度/(°)	坡比	置信度 95%的坡比		置信度 75%的坡比	
			下限	上限	下限	上限
25	43.93	0.96	0.62	1.49	0.76	1.23
30	42.99	0.93	0.60	1.43	0.73	1.19
35	42.04	0.90	0.58	1.39	0.70	1.15
40	41.09	0.87	0.56	1.33	0.68	1.11
45	40.15	0.84	0.53	1.28	0.66	1.08
50	39.20	0.81	0.51	1.25	0.63	1.04
55	38.26	0.79	0.49	1.20	0.61	1.01
60	37.31	0.76	0.47	1.16	0.59	0.97
65	36.36	0.74	0.45	1.12	0.56	0.94
70	35.42	0.71	0.43	1.09	0.54	0.91
75	34.47	0.68	0.41	1.05	0.52	0.88
80	33.52	0.66	0.39	1.02	0.50	0.85
85	32.58	0.64	0.37	0.99	0.48	0.83
90	31.63	0.62	0.36	0.95	0.46	0.79
95	30.69	0.59	0.34	0.93	0.44	0.77
100	29.74	0.57	0.32	0.89	0.42	0.74
105	28.79	0.55	0.30	0.86	0.40	0.72

表 3 铜黄段极限边坡坡高、坡比统计拟合数值

坡高/ m	计算坡 度/(°)	坡比	置信度 95%的坡比		置信度 75%的坡比	
			下限	上限	下限	上限
25	55.46	1.45	1.03	2.17	1.19	1.82
30	54.05	1.37	0.98	2.04	1.12	1.69
35	52.63	1.32	0.93	1.92	1.08	1.61
40	51.22	1.25	0.88	1.79	1.02	1.54
45	49.80	1.18	0.84	1.69	0.97	1.45
50	48.39	1.12	0.80	1.61	0.93	1.37
55	46.97	1.08	0.76	1.52	0.88	1.30
60	45.55	1.02	0.72	1.45	0.84	1.23
65	44.14	0.97	0.68	1.37	0.80	1.18
70	42.72	0.93	0.65	1.30	0.76	1.12
75	41.31	0.88	0.61	1.23	0.72	1.06
80	39.89	0.83	0.58	1.18	0.68	1.02
85	38.48	0.79	0.55	1.12	0.65	0.97
90	37.06	0.76	0.52	1.06	0.61	0.92
95	35.64	0.72	0.49	1.01	0.58	0.88
100	34.23	0.68	0.46	0.96	0.55	0.83
105	32.81	0.65	0.43	0.92	0.52	0.79

试验也做了不固结不排水剪、固结不排水剪和饱和固结不排水剪 3 种试验。

在基本物理性质指标中,天然密度和孔隙比在空间上没有明显的分异性,而密度、含水量和塑性指数均有自北向南增大的趋势。

对剪切试验结果统计分析,发现粘聚力 c (kPa)值的变异性较高,最大达 0.75;而摩擦角 φ (°)值的变异性很小,大部分小于 0.1,最大为 0.22;且不同试验方法粘聚力值变化大,摩擦角值变化小,统计结果见下页表 4。

表 4 剪切试验结果统计

区段	参数	试验类型	试样量/个	最小值/kPa	最大值/kPa	平均值/kPa	标准差	变异系数
延安段	粘聚力 c	直接快剪	6	26.5	33.4	29.6	2.5	0.08
		固结快剪	6	20.6	58.4	35.9	13.7	0.38
		饱和固结快剪	6	4.1	14.2	10.8	4.2	0.39
		三轴 UU	3	35.7	60.9	50.1	13.0	0.26
		三轴 CU	3	25.9	53.2	41.8	14.2	0.34
		三轴饱和 CU	3	23.0	52.7	35.5	15.4	0.43
	摩擦角 φ	试验类型	试样量/个	最小值/(°)	最大值/(°)	平均值/(°)	标准差	变异系数
		直接快剪	6	23.7	26.2	24.9	1.0	0.04
		固结快剪	6	22.2	29.9	25.2	2.6	0.10
		饱和固结快剪	6	23.9	26.9	25.3	1.1	0.04
		三轴 UU	3	23.6	27.6	25.0	2.3	0.09
		三轴 CU	3	28.9	30.1	29.7	0.6	0.02
		三轴饱和 CU	3	17.9	23.2	19.7	3.0	0.15
甘泉段	参数	试验类型	试样量/个	最小值/kPa	最大值/kPa	平均值/kPa	标准差	变异系数
	粘聚力 c	直接快剪	6	21.3	66.7	36.4	16.1	0.44
		固结快剪	6	20.8	50.7	39.8	10.8	0.27
		饱和固结快剪	6	2.4	14.4	7.1	4.0	0.56
		三轴 UU	4	29.0	38.9	35.3	4.5	0.13
		三轴 CU	4	39.1	70.5	52.2	13.5	0.26
		三轴饱和 CU	4	14.8	43.6	27.5	12.0	0.44
	摩擦角 φ	试验类型	试样量/个	最小值/(°)	最大值/(°)	平均值/(°)	标准差	变异系数
		直接快剪	6	21.2	26.0	24.1	1.8	0.07
		固结快剪	6	21.2	26.9	24.4	2.2	0.09
		饱和固结快剪	6	23.1	27.0	25.3	1.3	0.05
		三轴 UU	4	23.0	25.7	24.8	1.2	0.05
		三轴 CU	4	17.5	25.3	21.0	3.6	0.17
		三轴饱和 CU	4	10.2	15.1	13.0	2.3	0.18
铜黄段	参数	试验类型	试样量/个	最小值/kPa	最大值/kPa	平均值/kPa	标准差	变异系数
	粘聚力 c	直接快剪	10	9.2	88.6	37.3	25.2	0.68
		固结快剪	10	8.8	75.6	43.8	24.7	0.56
		饱和固结快剪	10	1.9	39.7	17.9	13.4	0.75
		三轴 UU	2	32.0	58.3	45.2		
		三轴 CU	2	57.0	81.9	69.5		
		三轴饱和 CU	2	41.7	44.1	42.9		
	摩擦角 φ	试验类型	试样量/个	最小值/(°)	最大值/(°)	平均值/(°)	标准差	变异系数
		直接快剪	10	20.5	32.5	27.0	3.4	0.13
		固结快剪	10	18.9	29.7	24.6	4.0	0.16
		饱和固结快剪	10	21.3	25.3	23.8	1.7	0.07
		三轴 UU	2	22.2	24.2	23.2		
		三轴 CU	2	16.9	21.7	19.3		
		三轴饱和 CU	2	13.5	18.7	16.1		

注：三轴 UU 为三轴不固结不排水剪；三轴 CU 为三轴固结不排水剪；三轴饱和 CU 为三轴饱和固结不排水剪。

反算法的基本假设：

(1)土是均质的,其单位重度已知。

(2)斜坡地形剖面能准确定义,即地形线已知。

(3)稳定系数 K 给定,强度参数为 $c、\varphi$,其中之一已给定。

反算采用 $K=1$,由于各段粘聚力的变异性较

高,而摩擦角的变异性很小,因此给定各段不同试验反算法的基本步骤,首先确定极限边坡的形态,方法的 φ 值平均值,反算 c 值^[10]。然后采用简化毕肖普法计算,反算结果见表 5。

表 5 反算粘聚力 c 值的结果统计

区段	统计项目	直接快剪	固结快剪	饱和固结快剪	三轴 UU	三轴 CU	三轴饱和 CU
延安段	统计量/个	19	19	19	19	19	19
	最小值/kPa	17.12	16.69	16.17	16.91	1.93	26.99
	最大值/kPa	62.28	60.89	60.15	61.60	38.18	94.45
	平均值/kPa	33.52	32.53	32.00	33.03	17.16	57.32
	标准差	12.60	12.39	12.28	12.49	9.31	18.71
	变异系数	0.38	0.38	0.38	0.38	0.54	0.33
甘泉段	统计量/个	25	25	25	25	25	25
	最小值/kPa	7.03	6.08	3.20	4.69	15.81	50.06
	最大值/kPa	55.48	54.22	49.97	52.26	65.57	117.66
	平均值/kPa	33.00	31.99	28.68	30.46	41.21	87.78
	标准差	12.82	12.83	12.83	12.84	12.76	19.38
	变异系数	0.39	0.40	0.45	0.42	0.31	0.22
铜黄段	统计量/个	26	26	26	26	26	26
	最小值/kPa	7.70	16.77	20.34	23.31	45.73	54.63
	最大值/kPa	59.57	67.81	70.68	73.06	91.36	109.17
	平均值/kPa	42.16	51.05	54.20	56.74	74.18	90.41
	标准差	11.86	12.27	12.39	12.48	13.13	14.00
	变异系数	0.28	0.24	0.23	0.22	0.18	0.15

对于反算的粘聚力 c 值,可以认为它是“真值”或接近“真值”,通过 c 值对室内各种剪切试验结果进行修正,其修正结果见表 6。通过反算综合分析可知,直接快剪的试验结果

表 6 室内剪切试验 c 值的修正

区段	统计项目	直接快剪	固结快剪	饱和固结快剪	三轴 UU	三轴 CU	三轴饱和 CU
延安段	室内平均值/kPa	29.61	35.86	10.81	50.13	41.77	35.51
	反算平均值/kPa	33.52	32.53	32.00	33.03	17.16	57.32
	修正系数	1.13	0.91	2.96	0.66	0.41	1.61
甘泉段	室内平均值/kPa	37.26	43.78	17.90	45.18	69.45	42.90
	反算平均值/kPa	33.00	31.99	28.68	30.46	41.21	87.78
	修正系数	0.89	0.73	1.60	0.67	0.59	2.05
铜黄段	室内平均值/kPa	37.26	43.78	17.90	45.18	69.45	42.90
	反算平均值/kPa	42.16	51.05	54.20	56.74	74.18	90.41
	修正系数	1.13	1.17	3.03	1.26	1.07	2.11

与反算结果较为接近,延安段、铜黄段的粘聚力要进行提高,而甘泉段则要进行折减。这与甘泉段的地形、地貌及黄土的颗粒组成有关。由于甘泉段的粘粒含量较延安段、铜黄段高,而粉粒含量则低,故对水的敏感性较高。另外,由实测坡高与坡度的拟合曲线(图 1)可知,该段极限边坡的坡度较延安段、铜黄段低,这也印证了反算结果。而其他试验方法的试验结果与反算结果则相差较大。

坡高度不宜超过 30 m。对于深路堑,当边坡高度大于 30 m 时,应进行特殊设计,经验算后并结合该地具体条件,再参照黄土边坡坡度设计表设计”。设计表中最高边坡值为 30 m,实际工程中,铜黄线、黄延线有许多路堑边坡高度大于 30 m,有的甚至高达上百米,可见,规范远远跟不上工程的需要。

3 强度参数在公路边坡设计中的应用

根据《公路路基设计规范》中规定:“黄土路基边

另外,边坡稳定性计算在各行业规范中都采用安全系数法,《岩土工程勘察规范》第 4.7.7 条规定,“边坡稳定系数的取值,对新设计的边坡,重要工程宜取1.30~1.50,一般工程宜取 1.15~1.30,次要工程宜取 1.05~1.15。采用峰值强度时取大值,采

用残余强度时取小值。验算已有边坡稳定性时,取 1.10~1.25”。因此,本文利用反算出的直接快剪及室内试验参数,给定坡高、重度、稳定系数 K 值对各

段不同坡高进行试算,以确定边坡坡度,为设计人员提供参考值。对各段边坡坡高、坡比,按不同稳定系数计算,结果见表 7。

表 7 坡高、坡比的计算结果

区 段	稳定 系数	不同坡高(m)的坡比								
		20	30	40	50	60	70	80	90	100
延 安 段	1.25	1.16	0.82	0.69	0.63	0.58	0.56	0.53	0.52	0.51
	1.20	1.27	0.88	0.74	0.66	0.62	0.58	0.56	0.55	0.53
	1.15	1.37	0.95	0.79	0.71	0.66	0.62	0.60	0.58	0.56
	1.10	1.54	1.03	0.85	0.76	0.70	0.66	0.63	0.61	0.60
	1.05	1.75	1.14	0.93	0.82	0.75	0.71	0.68	0.65	0.63
	1.00	2.04	1.28	1.00	0.88	0.81	0.75	0.72	0.70	0.67
甘 泉 段	1.25	1.10	0.78	0.66	0.60	0.56	0.53	0.51	0.49	0.48
	1.20	1.19	0.83	0.70	0.63	0.59	0.56	0.54	0.52	0.51
	1.15	1.30	0.90	0.75	0.68	0.63	0.59	0.57	0.55	0.54
	1.10	1.43	0.98	0.81	0.72	0.66	0.63	0.61	0.59	0.57
	1.05	1.64	1.14	0.88	0.78	0.72	0.68	0.65	0.62	0.61
	1.00	1.92	1.22	0.99	0.85	0.79	0.73	0.70	0.68	0.65
铜 黄 段	1.25	1.67	1.09	0.88	0.77	0.70	0.66	0.63	0.61	0.58
	1.20	1.89	1.18	0.94	0.81	0.74	0.69	0.66	0.64	0.62
	1.15	2.08	1.30	1.00	0.88	0.79	0.75	0.71	0.68	0.66
	1.10	2.33	1.41	1.10	0.94	0.85	0.79	0.75	0.72	0.70
	1.05	2.70	1.59	1.20	1.03	0.93	0.86	0.81	0.78	0.75
	1.00	3.33	1.82	1.35	1.14	1.02	0.94	0.88	0.83	0.80

4 结 语

(1)陕北至关中地区的极限边坡的坡高、坡度呈对数线性关系,且相关性较好。

(2)对各段土性指标统计分析,发现天然密度和孔隙比在空间上没有明显的分异性,密度、含水量和塑性指数均有自北向南增大的趋势;粘粒含量不是以往认为的自北向南增大,而是甘泉段最大,延安段次之,铜黄段最小,这还需要更多的数据加以验证;粘聚力 c 值的变异性较高,而摩擦角 φ 值的变异性很小,且不同试验方法, c 值变化大, φ 值变化小。

(3)参数反算时,利用各段测绘的极限坡形,根据各段 φ 值的变异性很小的特点,给定 φ 值,令稳定系数 $K=1$,反算 c 值;反算出的强度参数可以认为是“真值”或接近“真值”,并且发现各段直接快剪试验结果与反算结果较为接近,而其他各种试验结果相差较大,并对各种试验结果进行了修正。

(4)给定坡高、 φ 值,根据反算出的 c 值,利用模型进行计算,得出不同坡高在不同稳定系数下的设计坡比,为设计人工边坡提供了参考值。

参考文献:

References:

[1] 倪万魁,韩启龙. 黄土土性参数的统计分析[J]. 工程地质学报,2001,9(1):62-67.
NI Wan-kui, HAN Qi-long. Statistical analysis of physical and mechanical indexes of the typical loess [J]. Journal of Engineering Geology, 2001, 9(1): 62-67.

[2] 范明桥,盛金保. 土强度指标 φ 、 c 的互相关性[J]. 岩土工程学报,1997,19(4):100-104.
FAN Ming-qiao, SHENG Jin-bao. The mutual relativity of soil strength index φ and c [J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 1997, 19(4): 100-104.

[3] 王大通,熊启东. 对“关于抗剪强度 c 、 φ 值统计方法的思考”一文的讨论[J]. 岩土力学,1998,19(1):88-90.
WANG Da-tong, XIONG Qi-dong. The discussion on the reflection on statistical method for the shearing strength c and φ . [J]. Rock and Soil Mechanics, 1998, 19(1):88-90.

[4] 张旭辉,徐日庆,龚晓南. 圆弧条分法边坡稳定计算参数的重要性分析[J]. 岩土力学,2002,23(3):372-374.
ZHANG Xu-hui, XU Ri-qing, GONG Xiao-nan. Sig-

[10] JTG B01—2003,公路工程技术标准[S].